EJERCICIOS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS Y MIXTAS I

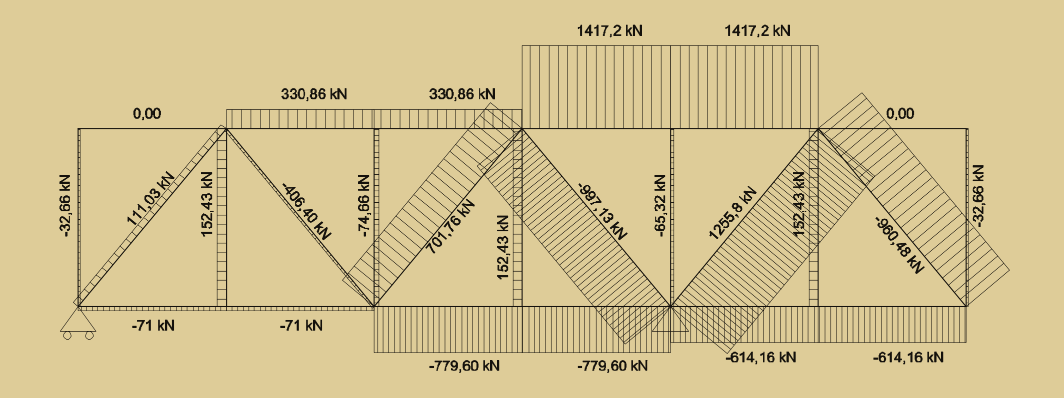
DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS

por

JORGE CONDE CONDE

ALEJANDRO BERNABEU LARENA

PAULA FUENTES GONZÁLEZ



CUADERNOS

DEL INSTITUTO

JUAN DE HERRERA

DE LA *ESCUELA DE*

ARQUITECTURA

DE MADRID

1-87-01

EJERCICIOS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS Y MIXTAS I

DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS

por

JORGE CONDE CONDE
ALEJANDRO BERNABEU LARENA
PAULA FUENTES GONZÁLEZ

CUADERNOS
DEL INSTITUTO
JUAN DE HERRERA
DE LA *ESCUELA DE*
ARQUITECTURA
DE MADRID

1-87-01

C U A D E R N O S
D E L   I N S T I T U T O
J U A N   D E   H E R R E R A

NUMERACIÓN

2 Área
51 Autor
09 Ordinal de cuaderno (del autor)

TEMAS

1 ESTRUCTURAS
2 CONSTRUCCIÓN
3 FÍSICA Y MATEMÁTICAS
4 TEORÍA
5 GEOMETRÍA Y DIBUJO
6 PROYECTOS
7 URBANISMO
8 RESTAURACIÓN
0 VARIOS



Ejercicios de Estructuras Metálicas y Mixtas I.
Determinación de esfuerzos.

Instituto Juan de Herrera.
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.
Gestión y portada: Almudena Gil Sancho.
CUADERNO 370.01 / 1-87-01
ISBN-13 (obra completa): 978-84-9728-417-2
ISBN-13: 978-84-9728-418-9
Depósito Legal: M-14570-2012

Presentación

Estos cuadernillos tienen su origen como apoyo docente al Módulo M4 (Estructuras de Acero) del Máster Oficial de Estructuras de Edificación de la ETSAM. Pensamos así mismo que pueden servir de referencia y utilidad a toda persona interesada en el campo de las estructuras metálicas de edificación.

El ejercicio central del módulo es el proyecto completo de una estructura metálica a nivel profesional. Dicho proyecto es desarrollado en grupo por los alumnos, efectuándose un seguimiento continuo del mismo durante el curso. Para garantizar que los alumnos poseen las herramientas necesarias para el trabajo exigido se imparten una serie de clases teóricas alrededor del material acero, que se completan con los presentes ejercicios, planteados como aplicación directa de los conceptos de teoría.

El módulo se estructura en dos grandes unidades conceptuales: el análisis y dimensionado de piezas, y el análisis y dimensionado de nudos. Los ejercicios que se presentan en este primer conjunto de cuadernos corresponden a la primera parte, de análisis de piezas:

I. Determinación de esfuerzos.

II. Propiedades seccionales.

III. Piezas a flexión.

IV. Piezas a compresión.

Los autores confían en poder ofrecer en breve la segunda parte, de nudos y detalles de conexión, cuyo interés es incluso mayor, dada la escasa bibliografía disponible al respecto.

Más allá del seguimiento estricto y de la aplicación directa (y en ocasiones ciega) de la normativa, aunque respetándola, los ejercicios plantean un análisis claro y profundo de los fenómenos que rigen el análisis y dimensionado de una estructura metálica, considerando así mismo las cuestiones y criterios constructivos, fundamentales en el proyecto de cualquier estructura, y más aún si esta es metálica.

En este sentido, el lector observará que, para preservar la unidad, y a pesar de ser enunciados independientes y autónomos, todos los ejercicios giran en torno a un edificio único. Se pretende así que el conjunto de ejercicios abarque las distintas cuestiones y problemas presentes en el proceso habitual de planteamiento, análisis y desarrollo de una estructura metálica.

Agradecemos a Paula Fuentes su sufrida labor, a Santiago Huerta la confianza depositada al designarnos como profesores del módulo y su apoyo en la publicación de estos cuadernos de ejercicios, y a José Luis de Miguel su interés y sus siempre afilados y pertinentes comentarios.

Madrid, febrero 2012

Jorge Conde Conde

Alejandro Bernabeu Larena

INDICE

Objetivo del ejercicio

Sobre un esquema simplificado de edificio:

1. Preparar bases de cálculo (acciones, coeficientes, hipótesis)
2. Realizar un análisis de la estructura, obteniendo las solicitaciones relevantes para el dimensionado de cada pieza.

Enunciado

En las figuras que acompañan a este texto se representa esquemáticamente la estructura de un edificio de uso terciario sito en el casco urbano de Zaragoza.

- esquema en planta de la estructura válido para las 4 plantas (tipo, cubierta, instalaciones y cubierta solar)
- pórtico tipo correspondiente a las alineaciones 1 a 5.

La estructura se supondrá resuelta con correas, vigas, celosías y pilares metálicos y mixtos. En las plantas tipo y cubierta el forjado es de chapa colaborante; en las plantas de instalaciones no hay forjado; en la planta de instalación solar el forjado es de bandejas de trámex y la maquinaria apoya directamente en las correas; a efectos de análisis se supondrá simplificadamente que la maquinaria equivale a una carga superficial.

En todos los casos se supondrá la estructura correctamente arriostrada en la dirección paralela al eje A.

Acabados de las plantas:

- Solado de pvc, falsos techos de placa, tabiquería tipo pladur.
- Cerramiento convencional, con un peso de 10 kN/ml.
- Peto de cubierta y cerramiento planta instalaciones con un peso de 5 kN/ml.

Se indica, por no estar normalizada, la acción de instalaciones.

Se despreciará la acción del viento en la cubierta.

Los forjados pesados son en todos los casos de chapa colaborante tipo Haircol 59 con un canto total de 150mm; se considerará un sobrepeso de 0,50 kN/m2 para tener en cuenta la estructura metálica.

	Peso propio estructura	Solados + tabiquerías	Uso
Planta tipo		2.00	
Planta cubierta		3.50	
Planta instalaciones		0.50	4.00
Instalaciones solares		0.50	1.50

Se pide:

Preparación de las bases de cálculo (acciones, coeficientes, hipótesis).

Datos relevantes de cálculo de los materiales .

Analizar las siguientes piezas:

1) Análisis como pieza isostática sometida a cargas continuas del forjado de todas las plantas y correas biapoyadas de todas las plantas (ejes A, B y C).
2) Análisis elástico o plástico de la correa interior tipo (continua) de todas las plantas.
3) Análisis de la viga del pórtico tipo (2, 3 y 4) entre ejes B y C, plantas tipo y cubierta.
4) Análisis de la cercha de cubierta en pórtico tipo.
5) Análisis elástico en primer orden del pórtico tipo (ejes 2, 3 y 4).
6) Análisis plástico del pórtico tipo suponiendo la estructura arriostrada.

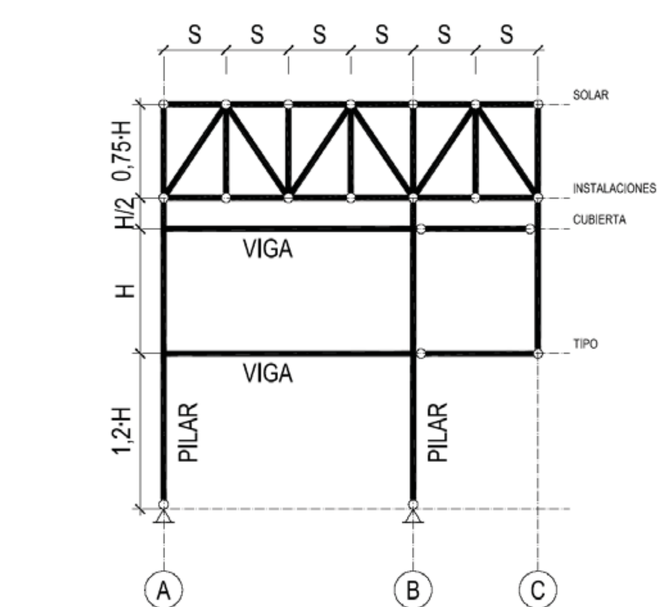
Como resultado del análisis se dibujarán y acotarán las gráficas de esfuerzos relevantes para cada pieza (Momentos, Cortantes y Axiles mayorados) y se indicarán las reacciones (sin mayorar).

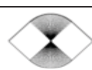
Es muy aconsejable realizar todos los cálculos de manera manual y repetirlos después con un programa de cálculo, buscar las posibles diferencias y encontrar el motivo de las mismas.

L = 7,200m; S = 2,520m; H = 4,040m.

ESQUEMA DE TODAS LAS PLANTAS







A. Preparación de las bases de cálculo:

A.1 Acciones verticales

-Peso propio de la estructura:

Peso del forjado:

Forjado chapa Haircol 59, h=150 mm, según fabricante. Peso forjado= 2,90-2,95 kN/m^2

Peso propio estructura metálica=0,50 kN/m^2

Total peso propio estructura= 3,50 kN/m^2

-Sobrecarga:

Para la sobrecarga de uso acudimos a la tabla 3.1 del CTE-SE-AE, de donde obtenemos:
-carga en cubierta 1,00 kN/m2 (CTE categoría G1), puede ser algo escasa
-planta tipo según categoría C1

Tabla 3.1 Valores característicos de las sobrecargas de uso

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m^2]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 (1)
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente (2)			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación (3)	G1	Cubiertas con inclinación inferior a 20º	1 (4)	2
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40º	0	2

CTE-SE-AE, tabla 3.1

A continuación se realiza un resumen de todas las cargas que actúan sobre la estructura:

CARGAS SIN MAYORAR

kN/m^2	Planta tipo	Cubierta	Instalaciones	Solar
PP estructura	3,50	3,50	0,50	0,50
Solados + tabiquería	2,00	3,50	0,50	0,50
Uso	3,00	1,00	4,00	1,50
Total	8,50	8,00	5,00	2,50

CARGAS MAYORADAS

kN/m^2	Planta tipo	Cubierta	Instalaciones	Solar
PP estructura	4,73	4,73	0,68	0,68
Solados + tabiquería	2,70	4,73	0,68	0,68
Uso	4,50	1,50	6,00	2,25
Total	11,93	10,95	7,35	3,60

Cerramientos sin mayorar (kN/ml)	10,00	5,00	5,00	0,00
Cerramientos mayorados (kN/ml)	13,50	6,75	6,75	0,00

	K	d
Viento fachadas presión (kN/m^2)	0,80	1,2
Viento fachadas succión (kN/m^2)	0,50	0,75

Tabla 1. Resumen de cargas

A.2 Acciones horizontales: viento

El cálculo de la carga de viento se realiza según el Código Técnico de la Edificación.

La acción de viento, en general una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, o presión estática, q_e puede expresarse como:

$q_e = q_b \times c_e \times c_p$ (CTE-SE-AE (3.1))

Para q_b, tomamos un valor de 0,50

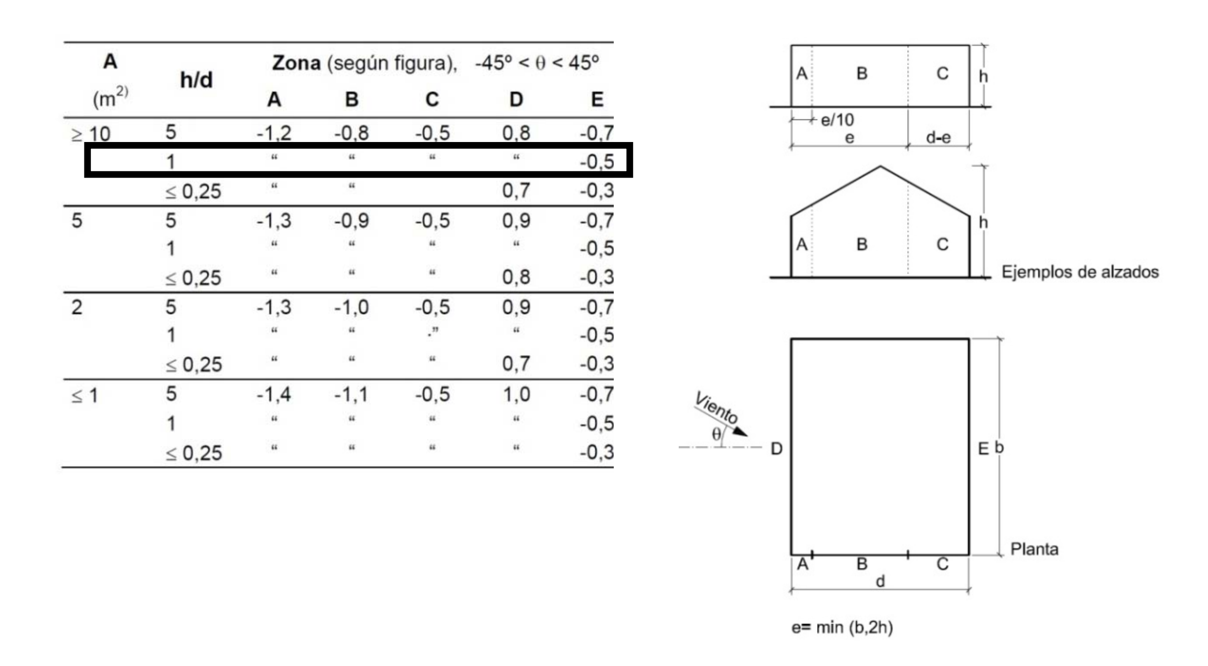
$q_b = 0,50\ kN/m^2$ (CTE-SE-AE, 3.3.2, 1)

Para c_e, tomamos un valor de 2,0

$c_e = 2,00$ (CTE-SE-AE, 3.3.2, 1)

$c_e \times q_b = 1,00\ kN/m^2$

Cálculo del coeficiente de presión exterior c_p:



A (m2)	h/d	Zona (según figura), -45º < θ < 45º				
		A	B	C	D	E
≥ 10	5	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,7
	1	“	“	“	“	-0,5
	≤ 0,25	“	“		0,7	-0,3
5	5	-1,3	-0,9	-0,5	0,9	-0,7
	1	“	“	“	“	-0,5
	≤ 0,25	“	“	“	0,8	-0,3
2	5	-1,3	-1,0	-0,5	0,9	-0,7
	1	“	“	.”	“	-0,5
	≤ 0,25	“	“	“	0,7	-0,3
≤ 1	5	-1,4	-1,1	-0,5	1,0	-0,7
	1	“	“	“	“	-0,5
	≤ 0,25	“	“	“	“	-0,3

CTE-SE-AE, tabla D.1

Cálculo de los parámetros en la dirección 1, para entrar en la tabla D.1:

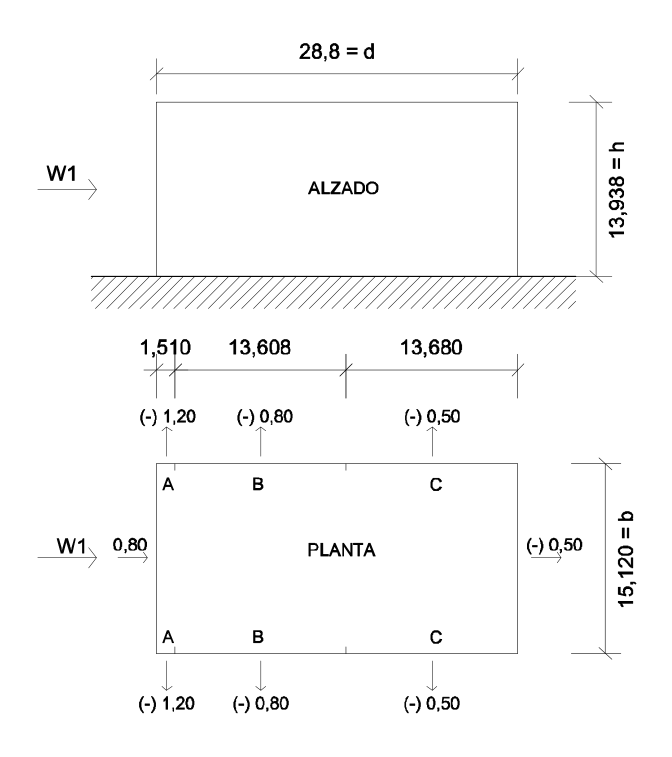
-Esbeltez h/d:
h / d = 13,938/28,800 = 0,484 → 1

-Medidas:
Min (b, 2h) = min (15,120; 2 × 13,938)

E = 15,120
d – e = 13,680
0,1 × e = 1,51
0,9 × e = 13,608

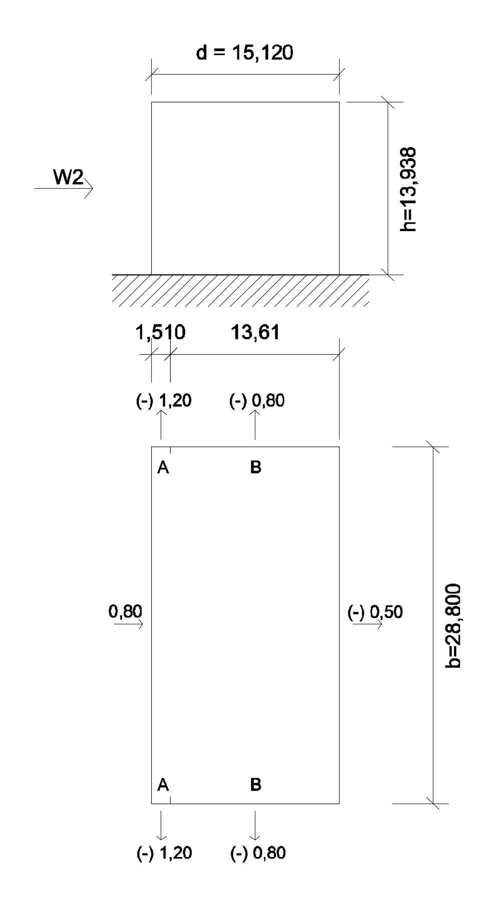
-Áreas
$S_A = 1,51 \times 13,93 > 10\ m^2$
$S_B, S_C, S_D, S_E > 10\ m^2$

Las secciones A, B, C son globalmente irrelevantes.



Cálculo de los parámetros en la dirección 2, para entrar en la tabla D.1:

h / d = 13,938/15,120 = 0,922→ 1
e = min(b; 2h) = min(28,800; 27,878)
e = 27,878
d - e → valor negativo, no existe zona C
$S_A > 10\ m^2$

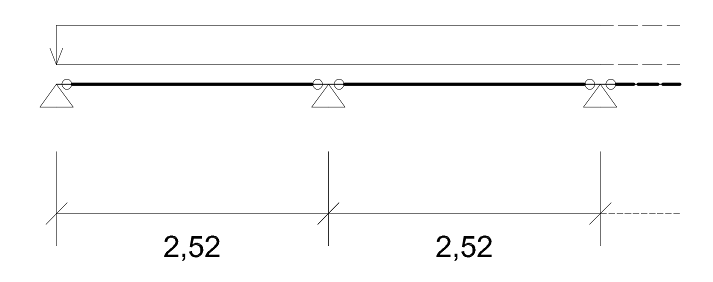


B. Análisis de la estructura

1. Análisis como pieza isostática sometida a cargas continuas del forjado de todas las plantas y correas biapoyadas de todas las plantas

1.1. Cálculo del forjado:

En primer lugar se calculará el forjado de la planta tipo, como pieza isostática biapoyada. Los resultados del resto de las plantas se resumen en la tabla 2.



Cargas (según tabla 1)

$G_k = 3{,}50$[1] $+ 2{,}00 = 5{,}50\ kN/m^2$
$G_d = 7{,}43\ kN/m^2$
$Q_k = 3{,}00\ kN/m^2$
$Q_d = 4{,}50\ kN/m^2$
$q_d = 11{,}93\ kN/m^2$
$q_k = 8{,}50\ kN/m^2$

$l = 2{,}52$ m

$$M_{E,d} = \frac{q_d \times l^2}{8} = 9{,}47 \text{ kNm}$$

$$V_{E,d} = \frac{q_d \times l}{2} = 15{,}03 \text{ kN}$$

Cálculo de las reacciones:

$Rg = G_k \times l/2 = 6{,}93$ kN/ml

$Rq = Q_k \times l/2 = 3{,}78$ kN/ml

$R = 10{,}71$ kN/ml

[1] Estrictamente es incorrecto computar aquí el peso propio de la estructura metálica. Sin embargo, dado que el interés de este cálculo es la obtención de reacciones sobre correas se ha dejado para simplificar los cálculos

Cálculo de flecha:

$$\delta = \frac{5 \times q_k \times l^4}{384EI} = 4{,}46 \frac{1}{EI(kNm^2)}$$

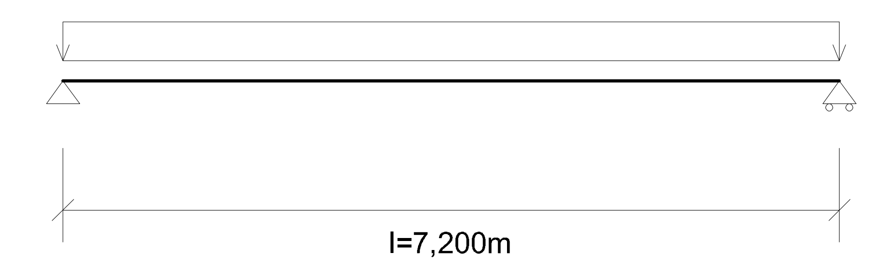
A continuación se presentan los resultados del forjado de cada planta:

	Planta tipo	Planta cubierta	Planta instalaciones	Planta solar	Unidades
g sin mayorar, G_k	5,50	7,00	1,00	1,00	kN/m^2
q sin mayorar, Q_k	3,00	1,00	4,00	1,50	kN/m^2
Carga total mayorada, q_d	11,93	10,95	7,35	3,60	kN/m^2
Luz, *l*	2,52	2,52	2,52	2,52	m
Momento mayorado, $M_{E,d}$	9,47	8,69	5,83	2,86	kNm/m
Cortante mayorado, $V_{E,d}$	15,03	13,80	9,26	4,54	kN/m
Reacción G, R_g	6,93	8,82	1,26	1,26	kN/m
Reacción Q, R_q	3,78	1,26	5,04	1,89	kN/m
Reacción total, R	10,71	10,08	6,30	3,15	kN/m
Deformación (× EI), δ	4,46	4,20	2,63	1,31	kNm^3

Tabla 2. Resumen de resultados forjado

1.2. Cálculo de la correa de fachada:

Pasamos ahora a calcular la correa de fachada (ejes A y C) de la planta tipo.



Cargas (según tabla 1):

$G_k = (3{,}50 + 2{,}00) \times S/2 + 10{,}00 = 16{,}93$ *kN/m*
$G_d = 22{,}86$ *kN/m^2*
$Q_k = 3{,}00 \times S/2 = 3{,}78$ *kN/m*
$Q_d = 5{,}67$ *kN/m^2*
$q_d = 22{,}86 + 5{,}67 = 28{,}53$ *kN/m*
$q_k = 16{,}93 + 3{,}78 = 20{,}71$ *kN/m*

$$M_{E,d} = \frac{q_d \times l^2}{8} = 184{,}85 \text{ kNm}$$

$$V_{E,d} = \frac{q_d \times l}{2} = 102{,}69 \text{ kN}$$

Cálculo de las reacciones:

$$R_g = \frac{G_k \times l}{2} = 60{,}95 \text{ kN}$$

$$R_q = \frac{Q_k \times l}{2} = 13{,}61 \text{ kN}$$

R = 74,56 kN

Cálculo de flecha:

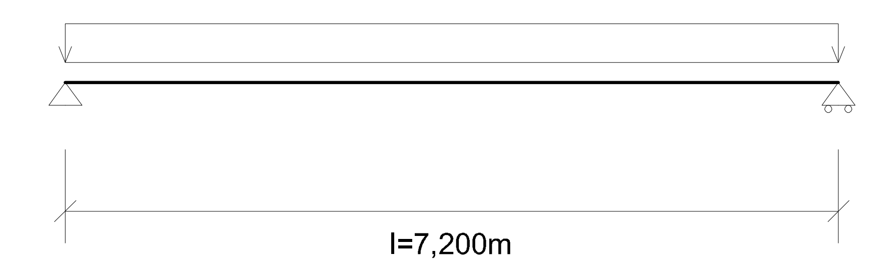
$$\delta = \frac{5 \times q_k \times l^4}{384EI} = 724{,}68 \frac{1}{EI(kNm^2)}$$

En la siguiente tabla se presentan los resultados de la correa de fachada de cada planta:

	Planta tipo	Planta cubierta	Planta instalaciones	Planta solar	Unidades
g sin mayorar, G_k	16,93	13,82	6,26	1,26	kN/m^2
q sin mayorar, Q_k	3,78	1,26	5,04	1,89	kN/m^2
Carga total mayorada, q_d	28,53	20,55	16,01	4,54	kN/m^2
Luz, *l*	7,20	7,20	7,20	7,20	m
Momento mayorado, $M_{E,d}$	184,85	133,14	103,75	29,39	kNm/m
Cortante mayorado, $V_{E,d}$	102,69	73,97	57,64	16,33	kN/m
Reacción G, R_g	60,95	49,75	22,54	4,54	kN/m
Reacción Q, R_q	13,61	4,54	18,14	6,80	kN/m
Reacción total, R	74,56	54,29	40,68	11,34	kN/m
Deformación (× EI), δ	724,68	527,68	395,41	110,22	kNm^3

Tabla 3. Resumen de resultados correa de fachada

1.3. Cálculo de la correa interior (eje B):



Cargas (según tabla 1):

$G_k = (3{,}50 + 2{,}00) \times S = 13{,}86$ kN/m
$G_d = 18{,}71$ *kN/m²*
$Q_k = 3{,}00 \times S = 7{,}56$ kN/m
$Q_d = 11{,}34$ *kN/m²*
$q_d = 18{,}71 + 11{,}34 = 30{,}05$ kN/m
$q_k = 13{,}86 + 7{,}56 = 21{,}42$ kN/m

$$M_{E,d} = \frac{q_d \times l^2}{8} = 194{,}73 \text{ kNm}$$

$$V_{E,d} = \frac{q_d \times 1}{2} = 108{,}18 \text{ kN}$$

Cálculo de las reacciones:

$$R_g = \frac{G_k \times 1}{2} = 49{,}90 \text{ kN}$$

$$R_q = \frac{Q_k \times 1}{2} = 27{,}22 \text{ kN}$$

R = 77,11 kN

Cálculo de flecha:

$$\delta = \frac{5 \times q_k \times l^4}{384EI} = 749{,}53 \frac{1}{EI(kNm^2)}$$

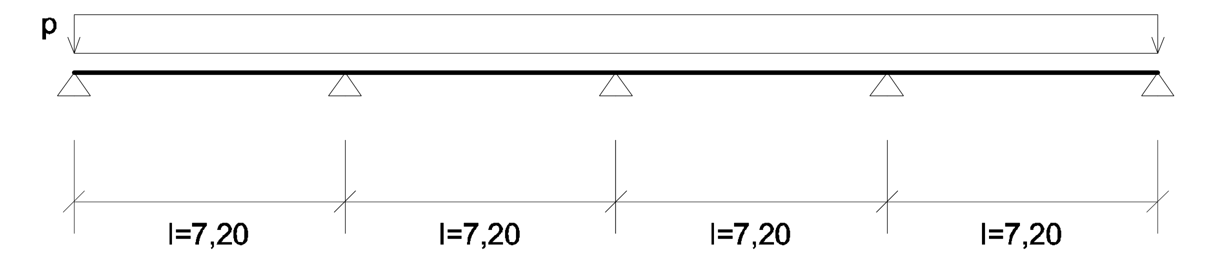
A continuación se recogen los resultados para cada una de las plantas:

	Planta tipo	Planta cubierta	Planta instalaciones	Planta solar	Unidades
g sin mayorar, G_k	13,86	17,64	2,52	2,52	kN/m^2
q sin mayorar, Q_k	7,56	2,52	10,08	3,78	kN/m^2
Carga total mayorada, q_d	30,05	27,59	18,52	9,07	kN/m^2
Luz, l	7,20	7,20	7,20	7,20	m
Momento mayorado, $M_{E,d}$	194,73	178,81	120,02	58,79	kNm/m
Cortante mayorado, $V_{E,d}$	108,18	99,34	66,68	32,66	kN/m
Reacción G, R_g	49,90	63,50	9,07	9,07	kN/m
Reacción Q, R_q	27,22	9,07	36,29	13,61	kN/m
Reacción total, R	77,11	72,58	45,36	22,68	kN/m
Deformación (× EI), δ	749,53	705,44	440,90	220,45	kNm^3

Tabla 4. Resumen de resultados correa interior

2. Análisis elástico o plástico de la correa interior tipo (continua) de todas las plantas:

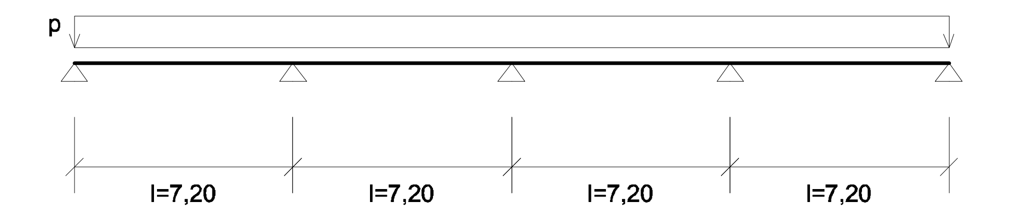
2.1. Análisis elástico de la correa interior de la planta tipo (continua):

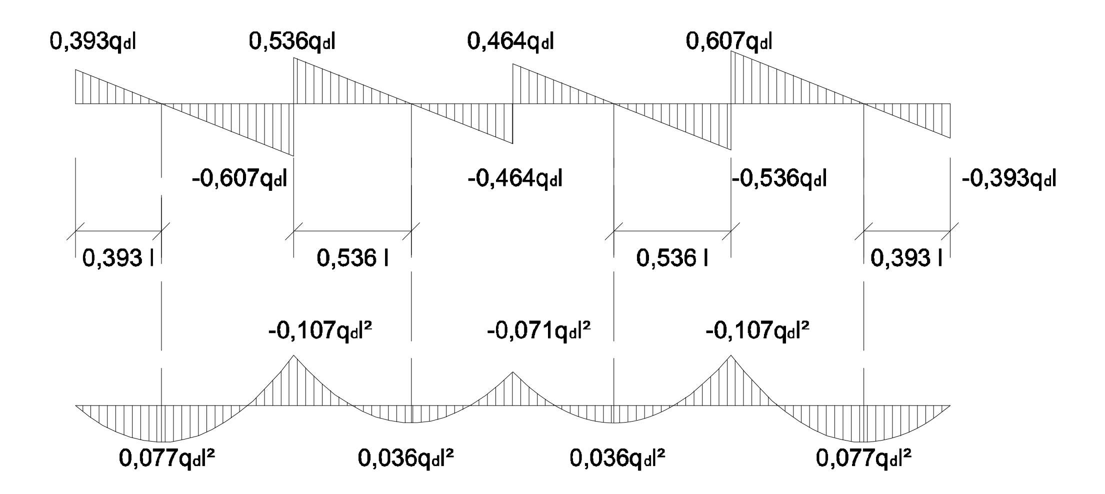


Cargas (según tabla 1):

G_k = (3,50 + 2,00) × S = 13,86 kN/m
G_d = 18,71 kN/m^2
Q_k = 3,00 × S = 7,56 kN/m
Q_d = 11,34 kN/m^2
q_d = 18,71 + 11,34 = 30,05 kN/m
q_k = 13,86 + 7,56 = 21,42 kN/m

Diagramas de momentos y cortantes en función de la carga:





A continuación obtenemos los valores para cada uno de los tramos:

Tramo 1-2:

$$M_{i,E,d} = \frac{q_d \times l^2}{8} = 194{,}72 \text{ kNm}$$

$$M^-_{1,E,d} = 0$$

$$M^-_{2,E,d} = -0{,}107 \times q_d \times l^2 = -166{,}68 \text{ kNm}$$

$$M^+_{12,E,d} = M_{i,E,d} - \frac{M^-_{2,E,d}}{2} = 111{,}38 \text{ kNm}$$

$$M^+_{mx12,E,d} = 0{,}077 \times q_d \times l^2 = 119{,}95 \text{ kNm}$$

$$V_{12,E,d} = 0{,}393 \times q_d \times l = 85{,}03 \text{ kN}$$

$$V_{21,E,d} = 0{,}0607 \times q_d \times l = 131{,}33 \text{ kN}$$

$$\delta_{12} = \frac{5q_k l^4}{384EI} - \frac{M^-_{2,E,k} l^2}{16EI} = \frac{5 \times 21,42 \times 7,20^4}{384EI} - \frac{0,107 \times 21,42 \times 7,20^4}{16EI} = 364,57 \frac{1}{EI(kNm^2)}$$

Tramo 2-3:

$M^-_{2,Ed} = -166,68$ kNm

$M^-_{3,Ed} = -0,071 q_d l^2 = -110,60$ kNm

$$M^+_{23,Ed} = M_{i,E,d} - \frac{M^-_{3,Ed}}{2} - \frac{M^-_{2,Ed}}{2} = 56,08 \text{ kNm}$$

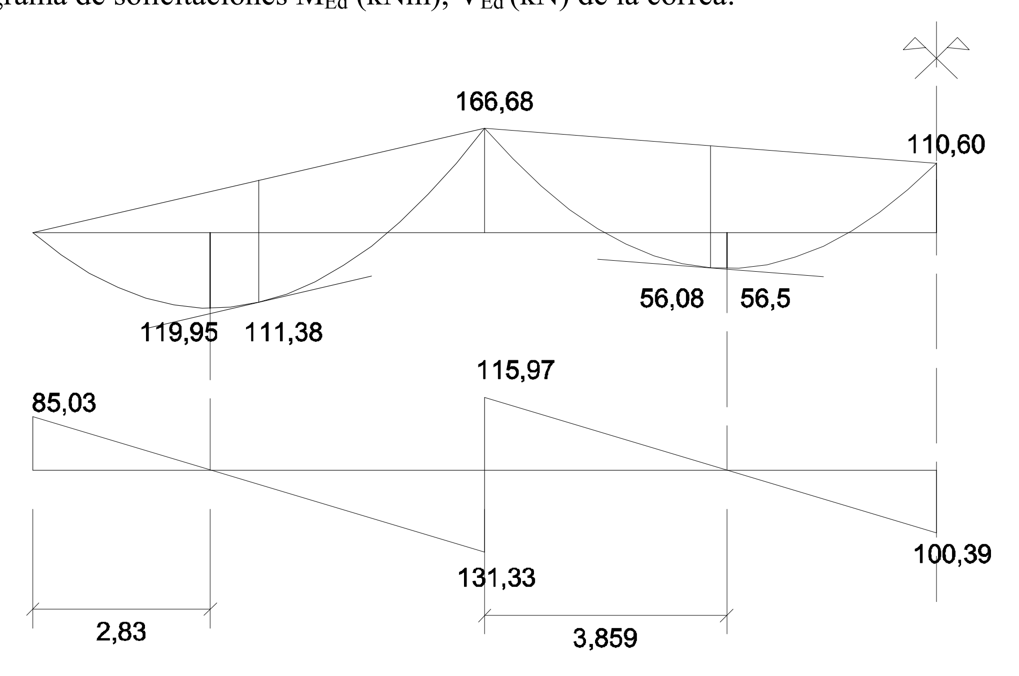
$M^+_{mx23,E,d} = 0,036 \times \sum q_d \times l^2 = 56,5$ kNm

$V_{23,Ed} = 0,563 q_d l = 115,97$ kNm

$M^-_{32,Ed} = 0,464 q_d l = 100,39$ kNm

$$\delta_{23} = \frac{5q_k l^4}{384EI} - \frac{M^-_{2,Ek_2} l^2}{16EI} - \frac{M^-_{3,Ek_3} l^2}{16EI} = 109,13 \frac{1}{EI(kNm^2)}$$

-Diagrama de solicitaciones M_{Ed} (kNm), V_{Ed} (kN) de la correa:



Cálculo de reacciones:

$R_{1g} = 0,393 \times 13,86 \times 7,20 = 39,22$ kN
$R_{1q} = 0,393 \times 7,56 \times 7,20 = 21,39$kN

R = 60,61 kN
R_{2g} = 1,143 × 13,86 × 7,20 = 114,06 kN
R_{2q} = 1,143 × 7,56 × 7,20 = 62,22kN
R = 176,28 kN

R_{3g} = 0,928 × 13,86 × 7,20 = 92,61 kN
R_{3q} = 0,928 × 7,56 × 7,20 = 50,51 kN
R = 143,12 kN

A continuación se pueden ver los resultados obtenidos para cada una de las plantas:

CORREA TIPO	Planta tipo	Planta cubierta	Planta instalaciones	Planta solar	Unidades
G sin mayorar, G_k	13,86	17,64	2,52	2,52	kN/m
Q sin mayorar, Q_k	7,56	2,52	10,08	3,78	kN/m
Carga mayorada, q_d	30,05	27,59	18,52	9,07	kN/m
Luz, *l*	7,20	7,20	7,20	7,20	m

VANO 1-2

Momento isostático $M_{i,E,d}$	194,73	178,81	120,02	58,79	kNm
Momento negativo en apoyo eje 1, $M^{-}_{1,E,d}$	0,00	0,00	0,00	0,00	kNm
Momento negativo en apoyo eje 2, $M^{-}_{2,E,d}$	-166,68	-153,06	-102,74	-50,32	kNm
Momento positivo en centro de vano, $M^{+}_{12,E,d}$	111,38	102,28	68,65	33,63	kNm
Momento máximo positivo en tramo 1-2, $M^{+}_{mx12,E,d}$	119,95	110,15	73,93	36,21	kNm
Posición del momento $M^{+}_{mx12,E,d}$ respecto al eje 1	2,83	2,83	2,83	2,83	m
Cortante apoyo 1, derecha, $V_{12,E,d}$	85,03	78,08	52,41	25,67	kN
Cortante apoyo 2, izquierda, $V_{21,E,d}$	-131,33	-120,60	-80,95	-39,65	kN
Momento negativo en apoyo 2 sin mayorar,	-118,81	-111,83	-69,89	-34,95	kNm
Deformación en centro del vano (×*EI*), δ_{12}	364,57	343,13	214,45	107,23	(kNm^3)

VANO 2-3

Momento isostático $M_{i,E,d}$	194,73	178,81	120,02	58,79	kNm
Momento negativo en apoyo eje 2, $M^-_{2,E,d}$	-166,68	-153,06	-102,74	-50,32	kNm
Momento negativo en apoyo eje 3, $M^-_{3,E,d}$	-110,60	-101,56	-68,17	-33,39	kNm
Momento positivo en centro de vano, $M^+_{23,E,d}$	56,08	51,50	34,57	16,93	kNm
Momento máximo positivo en tramo 2-3, $M^+_{mx23,E,d}$	56,5	51,50	34,57	16,93	kNm
Posición del momento $M^+_{mx23,E,d}$ respecto al eje 2	3,86	3,60	3,60	3,60	M
Cortante apoyo 2, derecha, $V_{23,E,d}$	115,97	106,49	71,48	35,01	kN
Cortante apoyo 3, izquierda, $V_{32,E,d}$	-100,39	-92,19	-61,88	-30,31	kN
Momento negativo en apoyo 2 sin mayorar,	-118,81	-111,83	-69,89	-34,95	kNm
Momento negativo en apoyo 3 sin mayorar,	-78,84	-74,20	-46,38	-23,19	kNm
Deformación en centro del vano (×*EI*), δ_{23}	109,13	102,71	64,19	32,10	kNm^3

REACCIONES

Apoyo 1

Reacción G	39,22	49,91	7,13	7,13	kN/m
Reacción Q	21,39	7,13	28,52	10,70	kN/m
Reacción total	60,61	57,04	35,65	17,83	kN/m

Apoyo 2

Reacción G	114,06	145,17	20,74	20,74	kN/m
Reacción Q	62,22	20,74	82,95	31,11	KN/m
Reacción total	176,28	165,91	103,69	51,85	kN/m

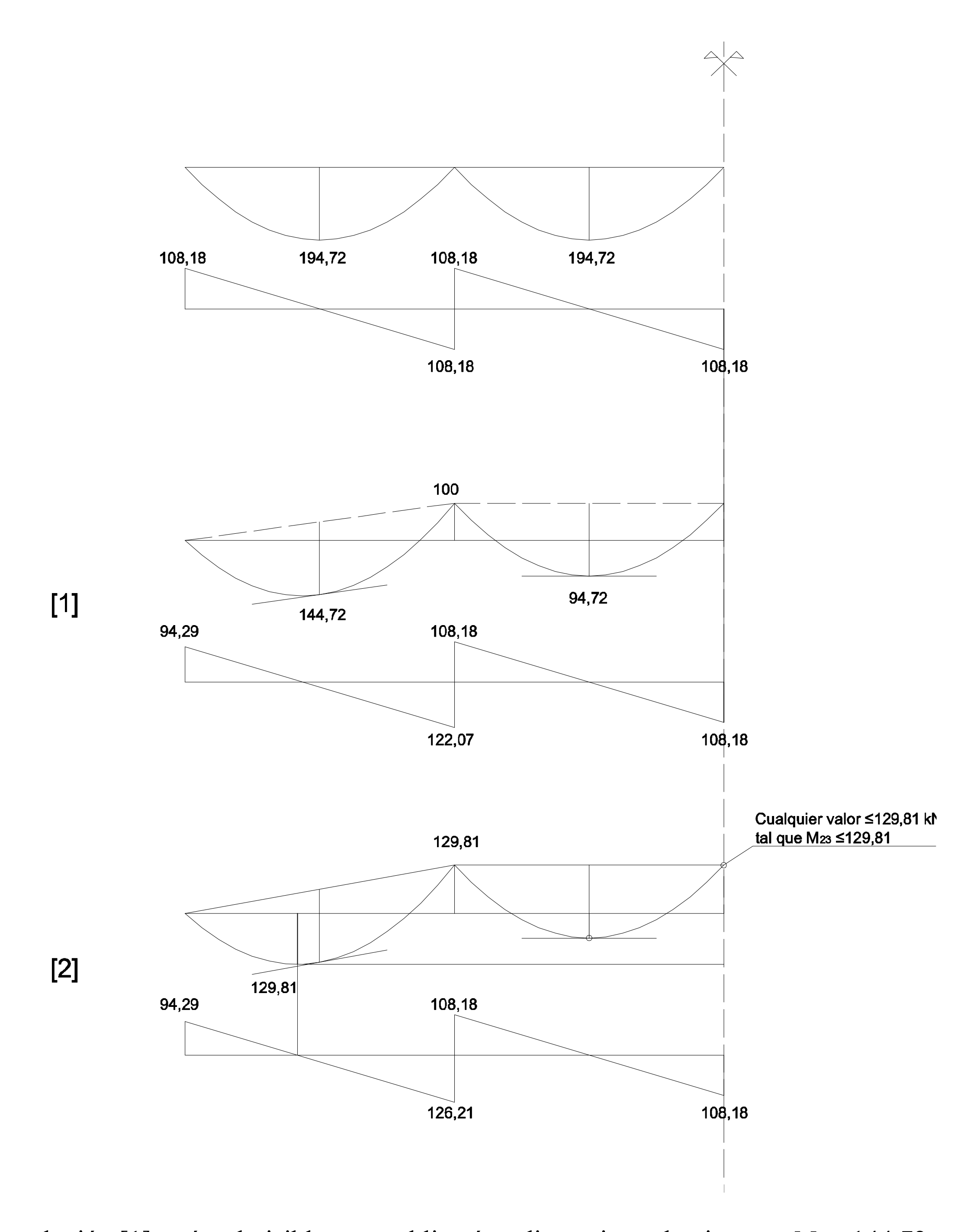
Apoyo 3

Reacción G	92,61	117,86	16,84	16,84	kN/m
Reacción Q	50,51	16,84	67,35	25,26	kN/m
Reacción total	143,12	134,70	84,19	42,09	kN/m

Tabla 5. Resumen de resultados correa continua, cálculo elástico

2.2 Análisis plástico de la correa interior de la planta tipo (continua):

Según el Teorema Estático cualquier solución equilibrada es segura.



La solución [1] sería admisible, pero obligaría a dimensionar la viga con M_{Ed}=144,72 *kNm*

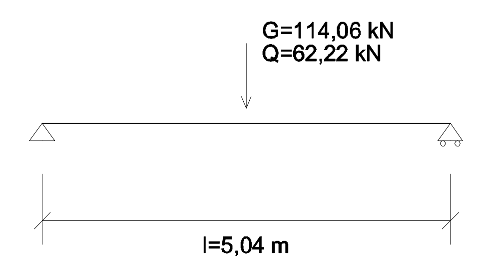
La solución [2], que iguala los momentos en el tramo 1, es la óptima ya que se da un momento mínimo M_{Ed}=129,81 *kNm*

El régimen plástico sirve para dimensionados de correas y piezas a flexión simple con continuidad.

3. Análisis de la viga del pórtico tipo (2, 3, 4) entre ejes B y B, plantas tipo y cubierta

Las vigas B-C son todas distintas, ya que las reacciones de las correas continuas son distintas en cada eje. Habría tres tipos 1, 2, 3. La 2 es igual que la 4 y la 1 igual que la 5. La pésima sería la 2, que es la que se analiza a continuación:

Cargas (reacciones de la correa tipo en apoyo 2, tabla 5):



$P_d = 114{,}06 \times 1{,}35 + 62{,}22 \times 1{,}50 = 247{,}31$ kN
$P_k = 114{,}06 + 62{,}22 = 176{,}28$ kN

$$M_d = \frac{P_d l}{4} = 311{,}61 \text{ kNm}$$

$$V_d = \frac{P_d}{2} = 123{,}66 \text{ kNm}$$

Cálculo de reacciones:

$$R_G = \frac{114{,}06}{2} = 57{,}03 \text{ kN}$$

$$R_Q = \frac{62{,}22}{2} = 31{,}11 \text{ kN}$$

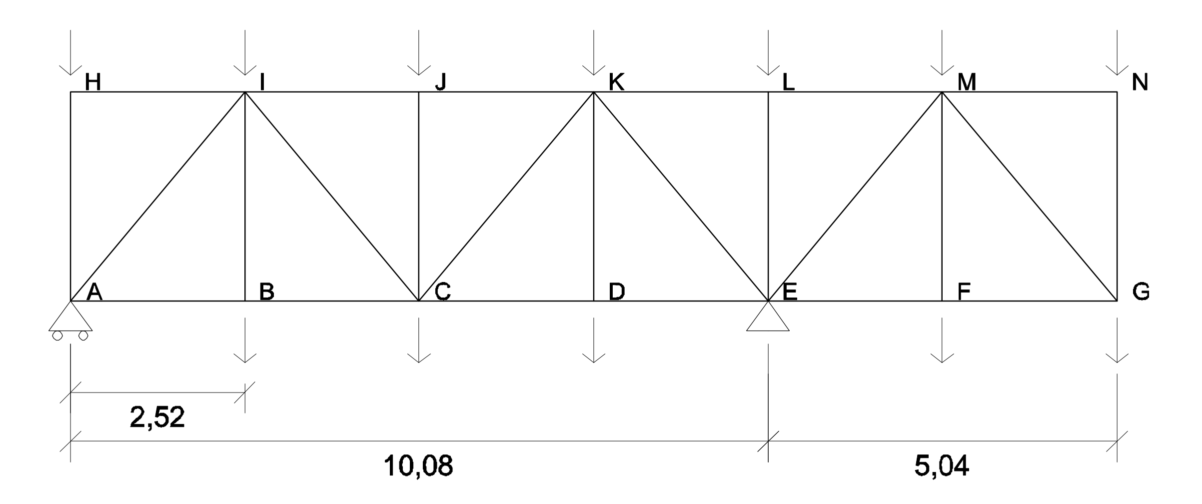
R = 88,14 kN

$$\delta = \frac{P_k l^3}{48EI} = 470{,}17 \frac{1}{EI(kNm^2)}$$

VIGA B-C	Planta tipo	Planta cubierta	Unidades
Luz, *l*	5,04	5,04	m
Carga puntual centro de vano, G	114,06	145,17	kN
Carga puntual centro de vano, Q	62,22	20,74	kN
Carga puntual mayorada	247,31	227,09	kN
Momento mayorado, Md	311,61	286,13	kNm
Cortante mayorado, Vd	123,66	113,54	kN
Reacción G	57,03	72,59	kN
Reacción Q	31,11	10,37	kN
Reacción total	88,14	82,95	kN
Deformación en centro de vano, δ	470,17	442,51	kNm^3

Tabla 6. Resumen de resultados viga B-C, eje 2

4. Análisis de la cercha de cubierta en pórtico tipo



Cargas:

Las cargas de la celosía se obtienen a partir del análisis de las piezas de cada planta, y opcionalmente a partir de las áreas tributarias.

Cargas en H, N. Actúa la carga de las instalaciones solares (tabla 1). Cálculo a partir de áreas tributarias:

$$G_{Hk} = 1{,}00 \times 7{,}20 \times \frac{2{,}52}{2} = 9{,}07 \text{ kN}$$

$$G_{Hd} = 12{,}25 \text{ kN}$$

$Q_{Hk} = 1{,}50 \times 7{,}20 \times \dfrac{2{,}52}{2} = 13{,}61$ kN

$Q_{Hd} = 20{,}41$ kN

$q_{Hk} = 22{,}68$ kN

$q_{Hd} = 32{,}66$ kN

Cargas en I, J, K, M. Actúa la carga de las instalaciones solares (tabla 1). En este caso tenemos calculadas las reacciones de las correas (p.10, esquemas de cortantes)

$G_{Ik} = 1{,}143 \times 7{,}20 \times 2{,}52 \times 1{,}00 = 20{,}74$ kN

$G_{Id} = 28{,}00$ kN

$Q_{Ik} = 1{,}143 \times 7{,}20 \times 2{,}52 \times 1{,}50 = 31{,}11$ kN

$Q_{Id} = 46{,}66$ kN

$q_{Ik} = 51{,}85$ kN

$q_{Id} = 74{,}66$ kN

Cargas en L. Actúa la carga de las instalaciones solares (tabla 1). Cálculo a partir de áreas tributarias:

$G_{Lk} = 7{,}20 \times 2{,}52 \times 1{,}00 = 18{,}14$ kN

$G_{Ld} = 24{,}49$ kN

$Q_{Lk} = 7{,}20 \times 2{,}52 \times 1{,}50 = 27{,}22$ kN

$Q_{Ld} = 40{,}83$ kN

$q_{Lk} = 45{,}36$ kN

$q_{Id} = 65{,}32$ kN

Cargas en A. Actúa la carga de instalaciones y el cerramiento (tabla 1). Cálculo a partir de áreas tributarias:

$G_{Ak} = 7{,}20 \times \dfrac{2{,}52}{2} \times 1{,}00 + 7{,}20 \times 5 = 45{,}07$ kN

$G_{Ad} = 60,85$ kN

$Q_{Ak} = 7,20 \times \frac{2,52}{2} \times 4,00 = 36,29$ kN

$Q_{Ad} = 54,43$ kN

$\sum q_{\ Ak} = 81,36$ kN

$\sum q_{\ Ad} = 115,28$ kN

Cargas en B, C, D, F. Actúa la carga de las instalaciones (tabla 1). En este caso tenemos calculadas las reacciones de las correas (p.10, esquemas de cortantes)

$G_{Bk} = 1,143 \times 7,20 \times 2,52 \times 1,00 = 20,74$ kN

$G_{Bd} = 28,00$ kN

$Q_{Bk} = 1,143 \times 7,20 \times 2,52 \times 4,00 = 82,95$ kN

$Q_{Bd} = 124,43$ kN

$\sum q_{\ Bk} = 103,69$ kN

$\sum q_{\ Bd} = 152,43$ kN

Cargas en E, actúa la carga de instalaciones (tabla 1). Cálculo a partir de áreas tributarias:

$G_{Ek} = 7,20 \times 2,52 \times 1,00 = 18,14$ kN

$G_{Ed} = 24,49$ kN

$Q_{Ek} = 7,20 \times 2,52 \times 4,00 = 72,58$ kN

$Q_{Ed} = 108,86$ kN

$\sum q_{\ Ek} = 90,72$ kN

$\sum q_{\ Ed} = 133,36$ kN

Cargas en G. Actúa la planta de instalaciones, y además la planta de cubierta y una planta tipo.

-Por planta de instalaciones: carga de instalaciones y cerramiento. Cálculo a partir de áreas tributarias.

$$G_{Gk} = 7{,}20 \times \frac{2{,}52}{2} \times 1{,}00 + 7{,}20 \times 5 = 45{,}07 \text{ kN}$$

$G_{Gd} = 60{,}85$ kN

$$Q_{Gk} = 7{,}20 \times \frac{2{,}52}{2} \times 4{,}00 = 36{,}29 \text{ kN}$$

$Q_{Gd} = 54{,}43$ kN

-Por la planta tipo:

-por la viga B-C, tenemos las reacciones, que serán las acciones sobre la cercha (tabla 6)

$G_{Gk} = 57{,}03$ kN
$Q_{Gk} = 31{,}11$ kN

-por la correa de borde, tenemos las reacciones que serán las acciones sobre la cercha, y multiplicadas por 2 (tabla 3):

$G_{Gk} = 121{,}90$ kN
$Q_{Gk} = 27{,}22$ kN

-por la planta de cubierta:

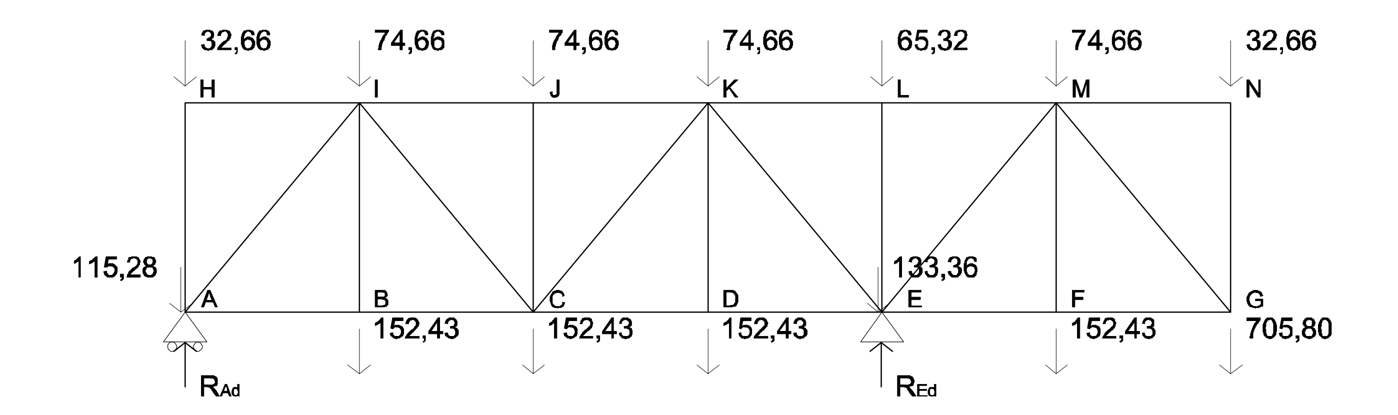
-por la viga B-C, tenemos las reacciones, que serán las acciones sobre la cercha (tabla 6)

$G_{Gk} = 72{,}59$ kN
$Q_{Gk} = 10{,}37$ kN

-por la correa de borde, tenemos las reacciones que serán las acciones sobre la cercha, y multiplicadas por 2 (tabla 3):

$G_{Gk} = 99{,}50$ kN
$Q_{Gk} = 9{,}07$ kN

$\sum G_{Gk} = 369{,}09$ kN
$\sum G_{Gd} = 534{,}72$ kN
$\sum Q_{Gk} = 114{,}05$ kN
$\sum Q_{Gd} =$1 71,08 kN
$\sum q_{Ek} = 483{,}14$ kN
$\sum q_{Ed} = 705{,}80$ kN



Cálculo de reacciones:

$$\sum^{+} M_E = (32{,}66 + 115{,}28) \times 2{,}52 \times 4 + (74{,}66+152{,}43) \times (2{,}52 \times 3 + 2 + 2{,}52 \times 1)-$$
$$-(32{,}66 + 705{,}80) \times 2{,}52 \times 2 - R_{Ad} \times 2{,}52 \times 4) \equiv 0$$

$R_{Ad} = 62{,}57$ kN

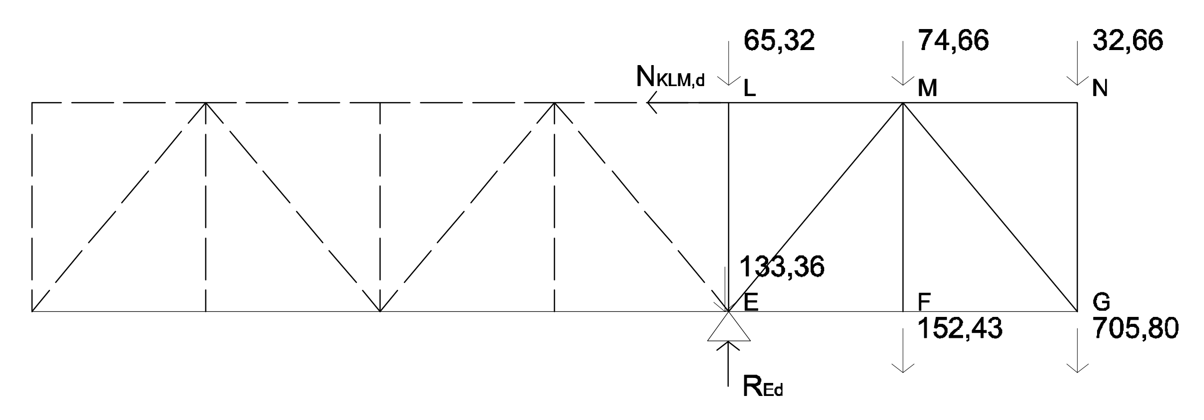
$R_{Ed} = \sum F - R_{Ad} = 1930{,}87$ kN

Conclusión de este análisis rápido:

-la celosía de cubierta está muy desequilibrada
-Posiblemente en alguna combinación el nudo A presente tracciones

Barras pésimas:

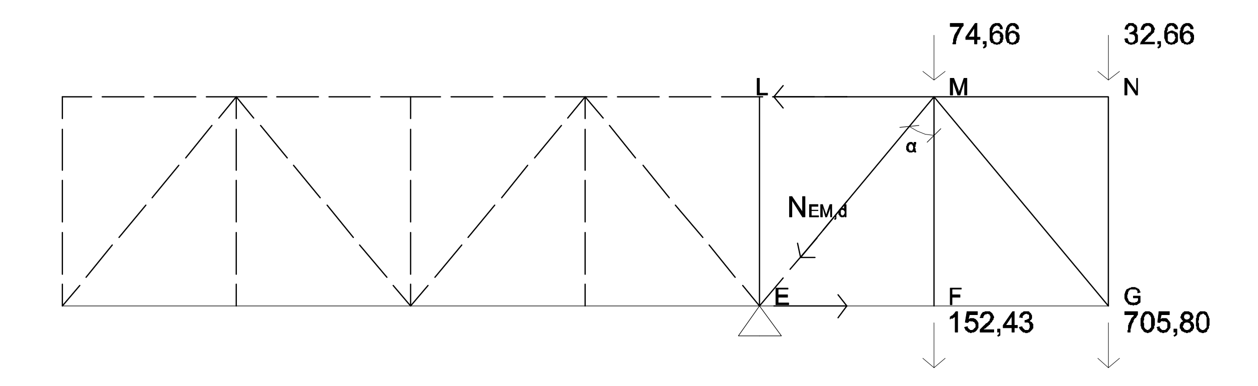
Cálculo de $N_{KLM,d}$:



$N_{KLM,d} \times 3{,}03 - (74{,}66 + 152{,}43) \times 2{,}52 - (32{,}66 + 705{,}80) \times 2{,}52 \times 2 = 0$

$N_{KLM,d} = 1417{,}15$ kN, traccionada

Cálculo de $N_{ME,d}$:



$V_{ME,d}$ = 74,66 + 32,66 + 152,43 + 705,80 = 965,55 KN

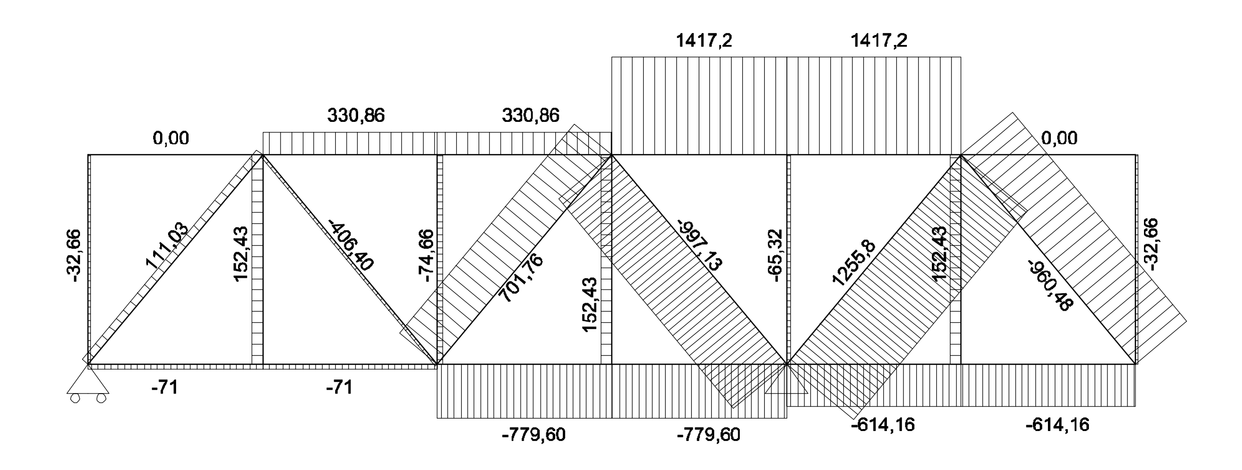
$N_{ME,d}$ = 965,55 ÷ cos∝ = (-)1255,85 kN, comprimida

Cálculo de $N_{FG,d}$:

(74,66 + 705,80) × 2,52 = $N_{FG,d}$ × 3,03

$N_{FG,d}$ = (-) 614,16 kN, comprimida

Diagrama de axiles de la celosía (kN):



A continuación se puede ver una tabla con las cargas de la celosía:

El paso de la cercha es 2,52 m, el alto 3,03 m y el ángulo de las diagonales 0,877 rad.

CARGAS	G	Q	$P_{tot,k}$	$P_{tot,d}$
Nudos I, J, K, M	20,74	31,11	51,85	74,66
Nudo L	18,14	27,22	45,36	65,32
Nudos H, N	9,07	13,61	22,68	32,66
Nudos B, C, D, F	20,74	82,95	103,69	152,43
Nudo E	18,14	72,58	90,72	133,36
Nudos A, G	45,07	36,29	81,36	115,28
Nudo G, carga por viga planta tipo	57,03	31,11	88,14	123,65
Nudo G, carga por viga planta cubierta	72,59	10,37	82,95	113,54
Nudo G, carga por correa fachada planta tipo	121,90	27,22	149,11	205,38
Nudo G, carga por correa planta cubierta	99,50	9,07	108,58	147,94
Nudo G, carga total	396,09	114,05	510,14	705,80

CARGAS Y SU POSICIÓN	A-H	B-I	C-J	D-K	E-L	F-M	G-N	S(F)	S(Fx)
Distancia al extremo izquierdo x (m)	0,00	2,52	5,04	7,56	10,08	12,60	15,12		
Carga G aplicada nudo superior	9,07	20,74	20,74	20,74	18,14	20,74	9,07	119,24	894,93
Carga G aplicada nudo inferior	45,07	20,74	20,74	20,74	18,14	20,74	396,09	542,26	6746,62
Carga Q aplicada nudo superior	13,61	31,11	31,11	31,11	27,22	31,11	13,61	178,86	1342,40
Carga Q aplicada nudo inferior	36,29	82,95	82,95	82,95	72,58	82,95	114,05	554,73	4755,55
Reacción G	-96,59				758,09			661,50	7641,55
Reacción Q	128,64				604,95			733,60	6097,95

Tabla 7. Cargas sobre la celosía

Cortante G de las fuerzas a la izquierda	-150,73	-192,21	-233,69	-275,17	446,64	405,16	0,00
Cortante Q de las fuerzas a la izquierda	78,75	-35,32	-149,38	-263,44	241,72	127,66	0,00
Momento G de las fuerzas a la izquierda	0,00	-379,85	-864,22	-1453,11	-2146,53	-1021,00	0,00
Momento Q de las fuerzas a la izquierda	0,00	198,44	109,45	-266,98	-930,85	-321,71	0,00

Axil de las barras superiores	H-I	I-J	J-K	K-L	L-M	M-N
N_g	0,00	285,22	285,22	708,43	708,43	0,00
N_q	0,00	-36,12	-36,12	307,21	307,21	0,00
N total sin mayorar	0,00	249,10	249,10	1015,64	1015,64	0,00
N total mayorado	0,00	330,87	330,87	1417,19	1417,19	0,00

Axil de las barras inferiores	H-I	I-J	J-K	K-L	L-M	M-N
N_g	-125,36	-125,36	-479,58	-479,58	-336,96	-336,96
N_q	65,49	65,49	-88,11	-88,11	-106,17	-106,17
N total sin mayorar	-59,87	-59,87	-567,69	-567,69	-443,14	-443,14
N total mayorado	-71,00	-71,00	-779,60	-779,60	-614,16	-614,16

Axil de las diagonales	A-I	I-C	C-K	K-E	E-M	M-G
N_g	196,05	-250,00	303,95	-357,89	-580,92	526,97
N_q	-102,42	-45,93	194,29	-342,64	-314,40	166,04
N total sin mayorar	93,63	-295,93	498,23	-700,54	-895,32	693,02
N total mayorado	111,04	-406,40	701,76	-997,12	-1255,84	960,48

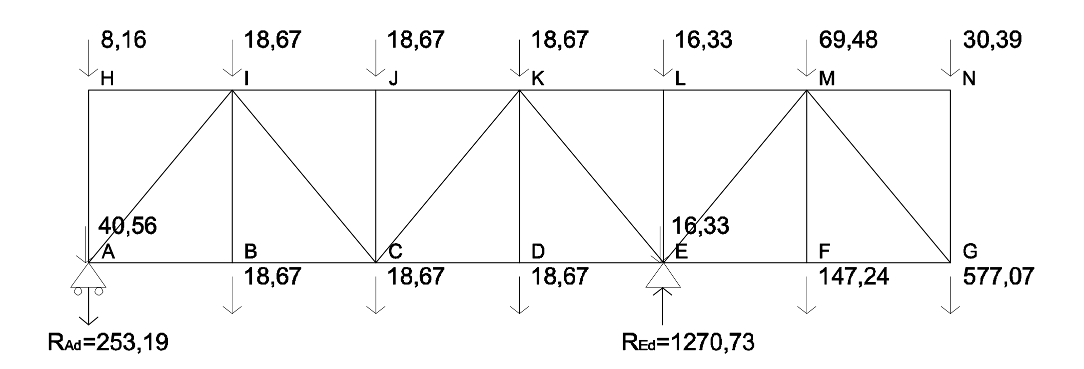
Axil de los montantes	A-H	B-I	C-J	D-K	E-L	F-M	G-N
N_g	-9,07	20,74	-20,74	20,74	-18,14	20,74	-9,07
N_q	-13,61	82,95	-31,11	82,95	-27,22	82,95	-13,61
N total sin mayorar	-22,68	103,69	-51,85	103,69	-45,36	103,69	-22,68
N total mayorado	-32,66	152,43	-74,66	152,43	-65,32	152,43	-32,66

Tabla 8. Esfuerzos internos de las barras de la celosía

Combinación de cargas para estudiar el Estado Límite de Equilibrio. Carga máxima en voladizo y mínima en vano.

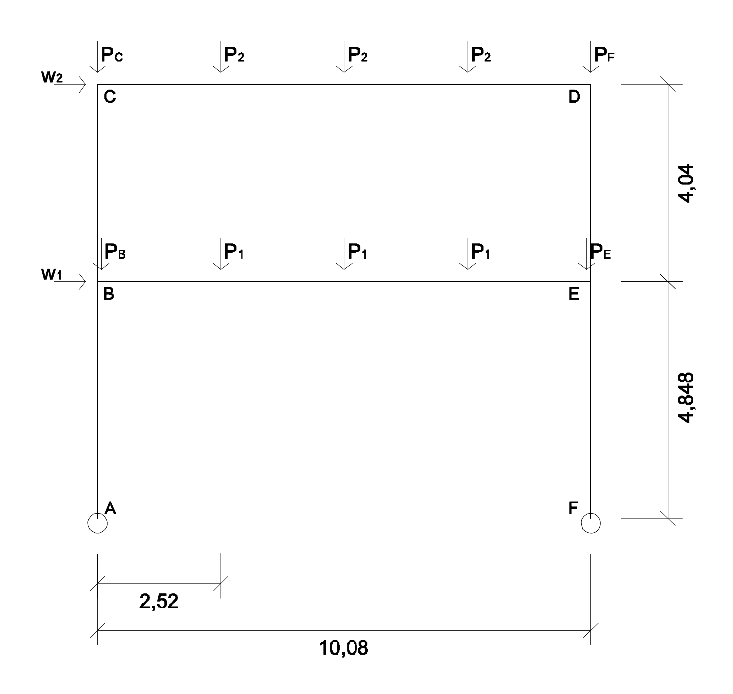
Coeficientes cargas favorables:
γ_G=0,90
γ_Q=0,00

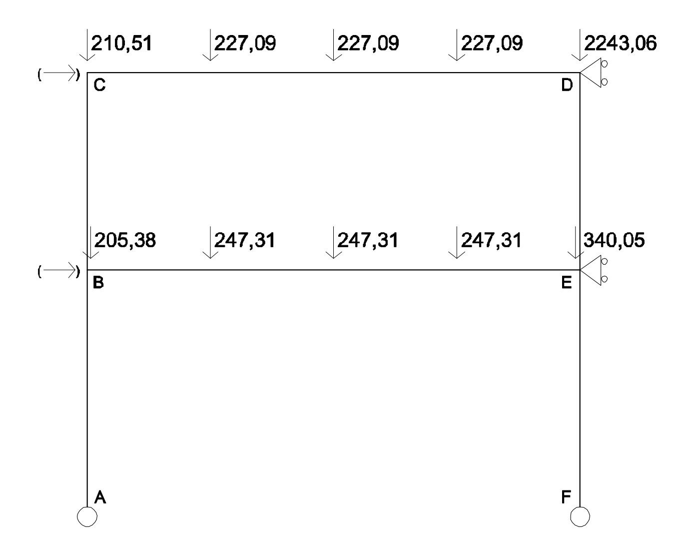
Coeficientes cargas desfavorables:
γ_G=1,10
γ_Q=1,50



5. Análisis elástico en primer orden del pórtico tipo (ejes 2, 3 y 4)

Analizamos el pórtico 2 como intraslacional. La estabilidad horizontal está confiada a los arriostramientos.





Cargas:

P_1, reacción de la vigueta continua de la planta tipo (tabla 5)
$P_{1,G}$ = 114,06 kN
$P_{1,Q}$ = 62,22 kN
$P_{1,k}$ = 176,28 kN
$P_{1,d}$ = 247,31 kN

P_2, reacción de la vigueta continua de la planta cubierta (tabla 5)

$P_{2,G} = 145,17$ kN
$P_{2,Q} = 20,74$ kN
$P_{2,k} = 165,91$ kN
$P_{2,d} = 227,09$ kN

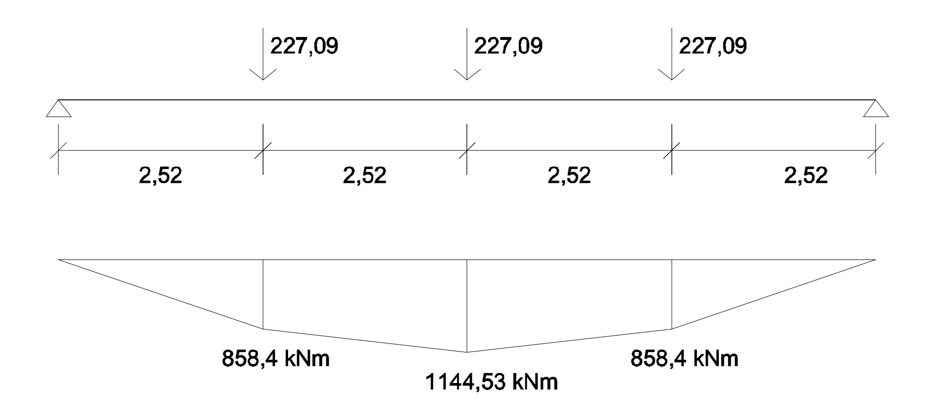
P_B, dos veces la reacción de la vigueta aislada de fachada de la planta tipo (tabla 3)
$P_{B,G} = 2 \times 60,95 = 121,90$ kN
$P_{B,Q} = 2 \times 13,61 = 27,22$ kN
$P_{B,k} = 149,12$ kN
$P_{B,d} = 205,38$ kN

P_E, dos veces la reacción de la vigueta aislada interior de la planta tipo (tabla 4) más la reacción de la viga B-C (tabla 6)
$P_{E,G} = 49,90 \times 2 + 57,03 = 156,83$ kN
$P_{E,Q} = 27,22 \times 2 + 31,11 = 85,55$ kN
$P_{E,k} = 242,38$ kN
$P_{E,d} = 340,05$ kN

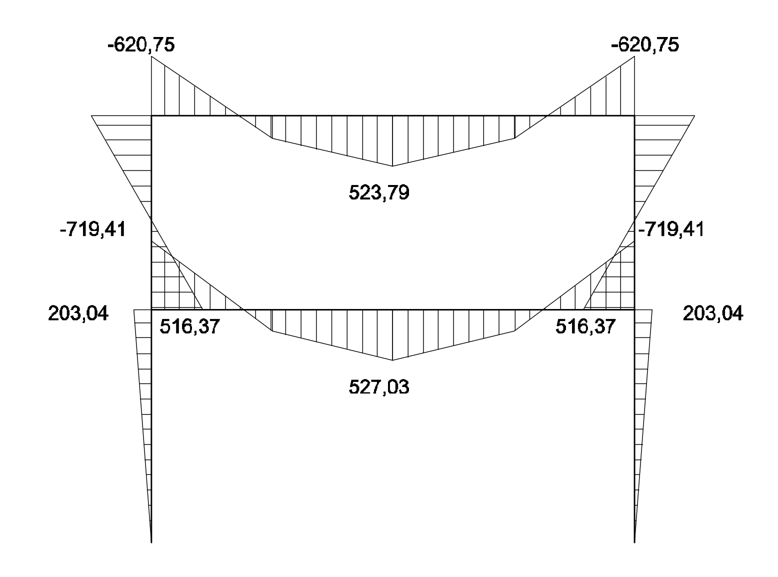
P_C, dos veces la reacción de la vigueta aislada de fachada de la planta de cubierta (tabla 3) más la reacción de la celosía (tabla 7)
$P_{C,G} = 49,75 \times 2 - 96,59 = 2,91$ kN
$P_{C,Q} = 4,54 \times 2 + 128,64 = 137,72$ kN
$P_{C,k} = 140,63$ kN
$P_{C,d} = 210,51$ kN

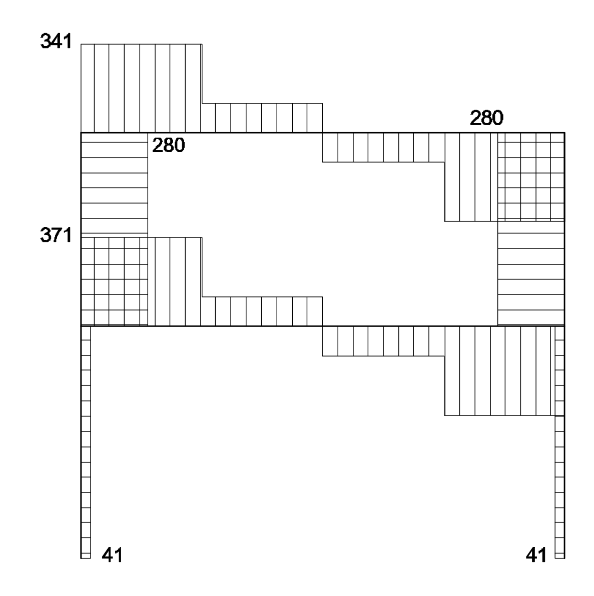
P_F, dos veces la reacción de la correa interior de la planta de cubierta (tabla 4) más la reacción de la viga B-C de cubierta (tabla 6) más el apoyo de la celosía (tabla 7)
$P_{F,G} = 63,50 \times 2 + 72,59 + 758,09 = 957,68$ kN
$P_{F,Q} = 9,07 \times 2 + 10,37 + 604,95 = 633,46$ kN
$P_{F,k} = 1591,14$ kN
$P_{F,d} = 2243,06$ kN

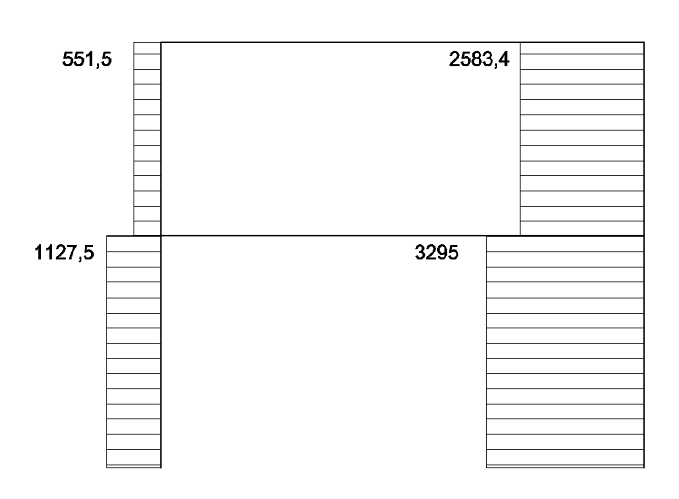
El viento con pórticos arriostrados es irrelevante.
Estimación de los momentos del pórtico:



-Diagramas de solicitaciones del pórtico M_{Ed} (kNm), V_{Ed} (kN) y N_{Ed} (kN):







NOTAS

CUADERNO



Cuadernos.ijh@gmail.com
info@mairea-libros.com

